

耐火炉 (水平炉・柱炉) の性能を測るラウンドロビン試験報告

その4 高温引張試験と载荷条件の違いが耐火性能に及ぼす影響

正会員 ○ 西田一郎* 正会員 繁永英毅* 正会員 内川恒知* 正会員 田坂茂樹**
正会員 田中義昭** 正会員 遊佐秀逸*** 正会員 水上点晴***

耐火炉 耐火試験 高温引張試験

1. はじめに

通常の耐火試験は、標準加熱曲線として定められた単一の加熱条件下における耐火性能を確認している。また構造支持部材の場合、長期の許容応力度を用いた载荷加熱試験により、火災時の構造安定性 (非損傷性) の評価が行われている。

耐火試験は格付けを目的とした相対評価であるため、これらの加熱・载荷条件を一律に設定せざるを得ないが、理想化された火災条件である耐火試験の結果から実火災における現象をイメージするためには想像力を要する。既往研究として、壁体について加熱条件の違いが耐火性能に及ぼす影響が報告されているが⁽¹⁾、今回、はりについて载荷条件を長期許容応力度の1.5倍と変化させ、载荷加熱試験を実施した。加熱、炉内圧力、試験体などその他の条件は、前報のラウンドロビン試験と同じである。

また、これら一連の試験で用いた鋼材について、高温時の応力-ひずみ曲線を得るため、高温引張試験を行ったので結果を報告する。

2. 载荷条件の違い試験結果の比較・考察

载荷条件を長期許容応力度の1.5倍とした試験結果と、同一加熱炉で実施したラウンドロビン試験結果 (载荷条件は長期許容応力度) を比較する。

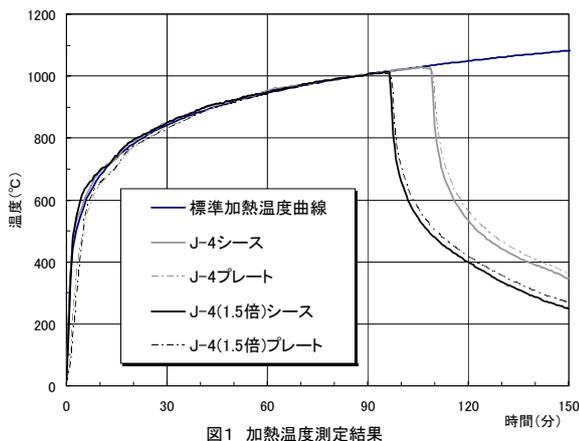


図1 加熱温度測定結果

図1より加熱中の炉内温度に大きな違いはなく、加

熱の繰り返し性 (Repeatability) は良いといえる。

図2に断面別の鋼材平均温度の比較を示す。B断面の鋼材温度上昇に若干の違いは見られるが (90分時点で約15°C)、中央部のB断面がA,C断面に比べて高い温度履歴を示す等、大局的性状に差異はない。表1に到達耐火時間と崩壊鋼材温度を示す。

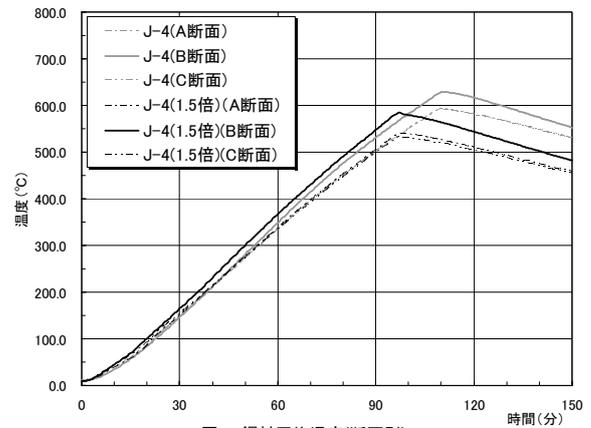


図2 鋼材平均温度(断面別)

表1 到達耐火時間と崩壊鋼材温度

	J-4	J-4 (1.5倍)
到達耐火時間(分)	109	96.5
崩壊鋼材温度(°C)	625	548

たわみ量とたわみ量制限値の比を縦軸にとり、また横軸に鋼材平均温度 (B断面) をとって図3に示す。鋼材温度に対するたわみ量の関係は、両者共に250°C付近でたわみ速度が一時的に上がり、その後差が大きく

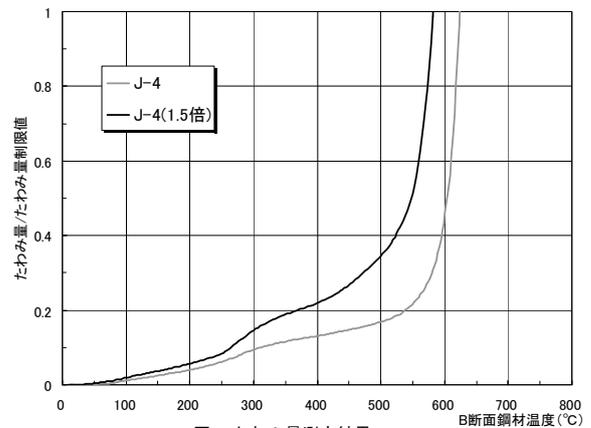


図3 たわみ量測定結果

なる。また柱の試験時にも 300℃付近で見かけの線膨張が停滞する現象が観察されている。この 200℃～300℃という温度付近は、鋼材にとって組織変化、再結晶を及ぼす温度にあたり、加工ひずみの除去によるすべりが起きているものと考えられる。

3. 高温引張試験

すめ、はりのラウンドロビン試験で用いる H 型鋼 (SN490B) の端部を切り出し、フランジ部より II-10 形試験片を採取し、高温引張を実施した。

3.1 試験条件

試験方法は JIS G 0567 準拠とする。高温時の引張強度は、引張速度の影響を大きく受けることが報告されているため、本研究では引張速度を 19.6%ひずみまでは 0.3%/min とし、以降破断まで 3.75mm/min とした。試験温度は、常温、500℃、550℃は 2 体ずつ、600℃、650℃は 3 体ずつとした。

3.2 試験結果

鋼材の各温度における応力-ひずみ曲線を図 4 に、降伏点、1%ひずみ時耐力、引張強さの値を表 2 に示す。高温になるほど各耐力は低下し、1%ひずみ時耐力を例にとると、常温時の強度に対して 600℃では 0.44 まで低下し、引張強さと 1%ひずみ時耐力の差も大きくなる。基準強度と 1%ひずみ時耐力の比率を図 5 に示す。

表 2 高温引張試験結果

試験温度 (°C)	降伏点 or 0.2%耐力 (N/mm ²)	1%ひずみ時耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
24	298	286	453
	296	285	452
500	182	219	296
	181	221	312
550	167	190	223
	165	190	225
600	116	121	155
	121	127	161
	120	126	157
650	84	83	103
	84	82	103
	82	—	98

鋼材の高温時の有効降伏応力度は、建築構造用鋼材の高温引張試験により測定した 1%ひずみ時耐力を統計処理して、平均値から標準偏差の 3 倍の安全率を引いた値により、以下の式に基づいて求められる⁽²⁾。

$$\sigma_y(T) = \begin{cases} F & \dots T \leq 325 \\ F \cdot \left(\frac{700 - T}{375} \right) & \dots 325 < T < 700 \end{cases} \quad (1)$$

F: 鋼材種別により定められる基準強度(N/mm²)

今回の荷重条件は、以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} \sigma &= F/1.5 = 156.7 \\ \sigma_{(1.5)} &= 1.5 \times \sigma = F = 235 \end{aligned} \quad (2)$$

図 5 よりこの式は十分に安全側といえるが、(2)式で求めた応力に対する崩壊温度を表 2 の引張強さを用いて詳細に求めると、 $\sigma=156.7$ に対しては約 600℃、 $\sigma_{(1.5)}=235$ に対しては約 550℃と考えられ、表 1 の結果と対応する。

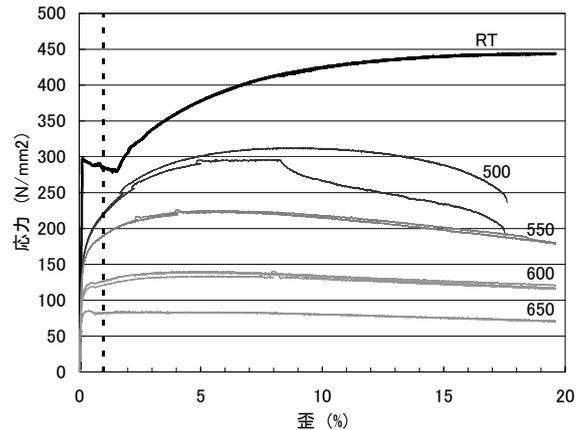


図 4 鋼材の高温時応力-ひずみ関係

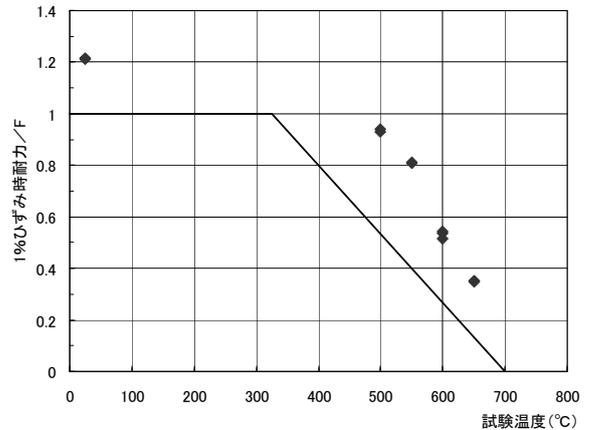


図 5 鋼材の 1%耐力

4 まとめ

鋼材の高温時耐力は組織変化による耐力低下がみられる 300℃が 1 つの目安と考えられる。また高温引張試験の結果から(1)式は十分に安全側の算定式であるといえる。一方で高温引張試験により鋼材の詳細な崩壊温度を予測することも可能だと考えられる。

【参考文献】

- [1] 水上他：加熱条件の違いが耐火性能に及ぼす影響、建築学会大会、2009
- [2] 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説 井上書院

* (財) 建材試験センター
 ** (財) 日本建築総合試験所
 *** (財) ベターリビング

* Japan Testing Center for Construction Materials
 ** General Building Research Corporation of Japan
 *** Center for Better Living